



# COMET実験における 読み出しシステムの開発

21 Nov. 2014

上野 一樹(KEK IPNS)

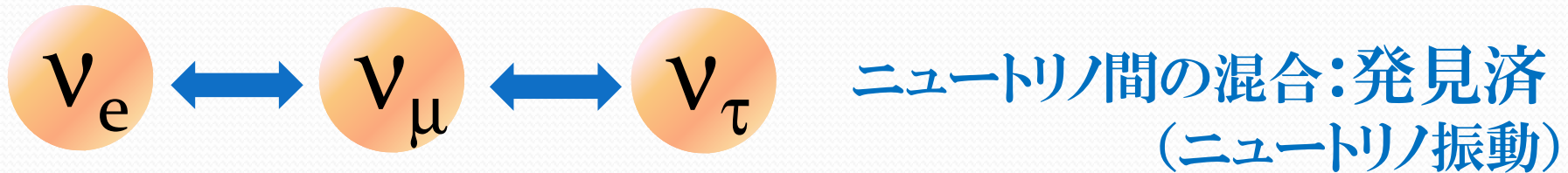
計測システム研究会@J-PARC

# Outline

- インTRODクシヨN
- COMET実験
- StrECal検出器
- ROESTI
- まとめと今後

# イントロダクション

## Lepton Flavor Violation (LFV)



### 標準理論

荷電レプトン混合反応の分岐比  $\sim O(-54)$  観測不可能。。

 荷電LFVの発見 = 標準理論を越える物理

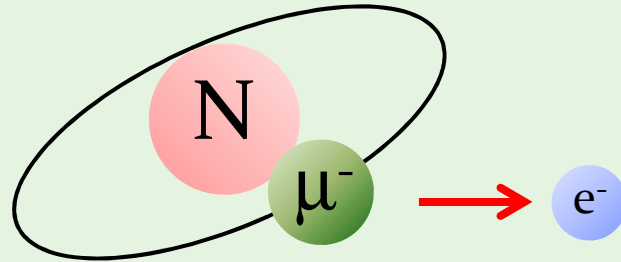
標準理論を越える模型 (ex. SUSY-GUT, SUSY-SEASAW)

分岐比  $\sim O(-15)$  観測可能!

# イントロダクション

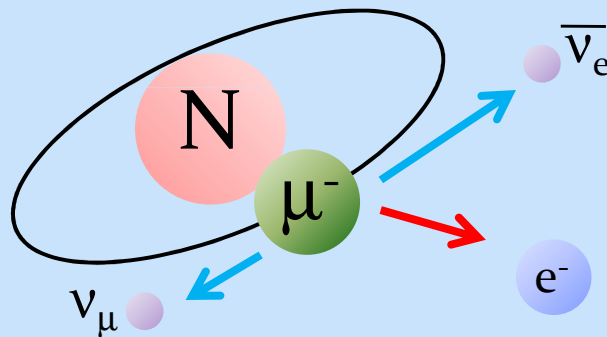
## ミュオン電子転換事象“ $\mu N \rightarrow e N$ ”

シグナル



- 単一電子  
 $E_e = m_\mu - B_\mu \sim 105 \text{ MeV}$  (N=Al)
- コヒーレント過程

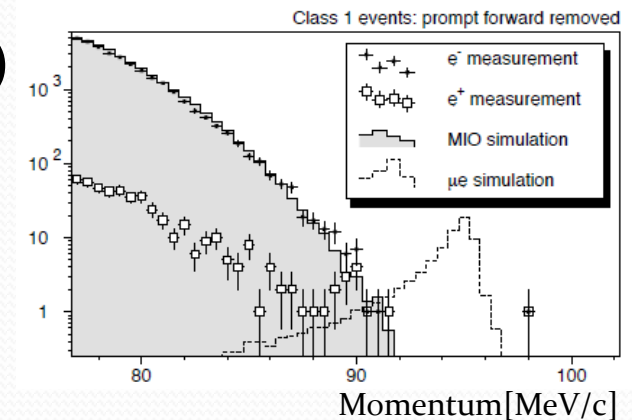
BGs



- Decay in Orbit (DIO)
- Radiative  $\pi/\mu$ -capture
- Decay in Flight (DIF)
- Cosmic-rays など

分岐比上限値  $< 7 \times 10^{-13}$  (SINDRUM-II@PSI)

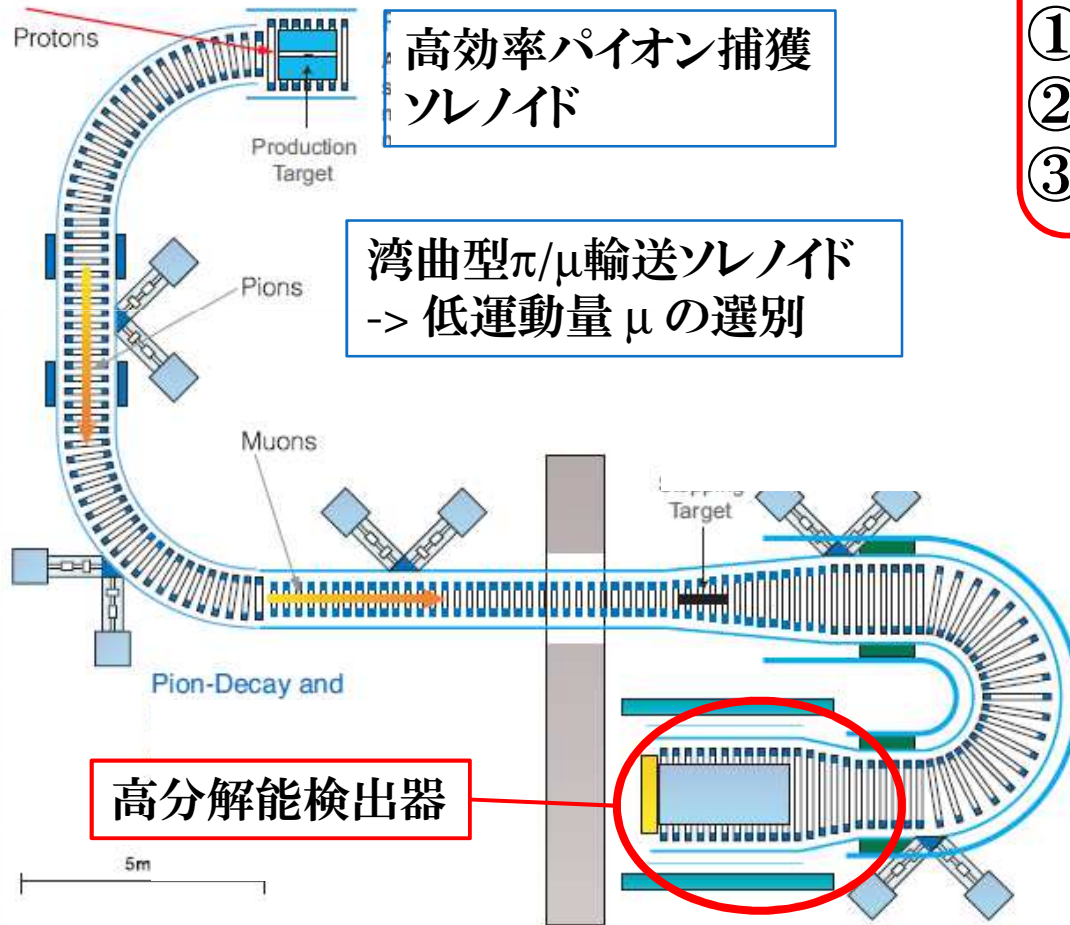
- 課題
- ①ミュオンビーム大強度化
  - ②背景事象低減
  - ③高分解能検出器開発



# COMET実験

## ミュオン電子転換過程探索実験@J-PARC

大強度パルス状陽子ビーム



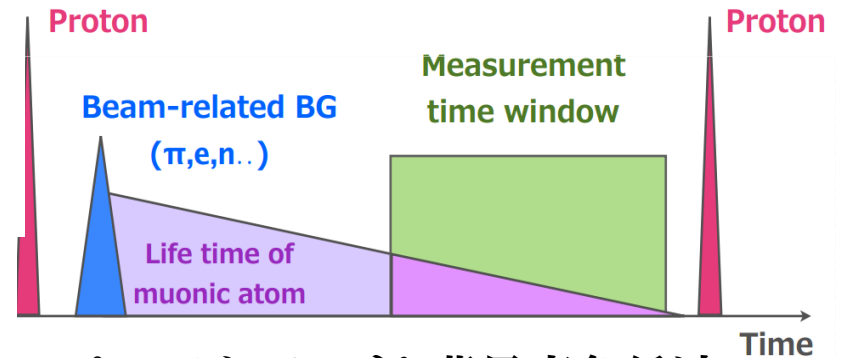
高効率パイオン捕獲ソレノイド

湾曲型 $\pi/\mu$ 輸送ソレノイド  
-> 低運動量 $\mu$ の選別

高分解能検出器

課題への対応

- ① J-PARCの大強度ビーム
- ② パルス化ビーム、輸送ソレノイド
- ③ 新たな検出器開発



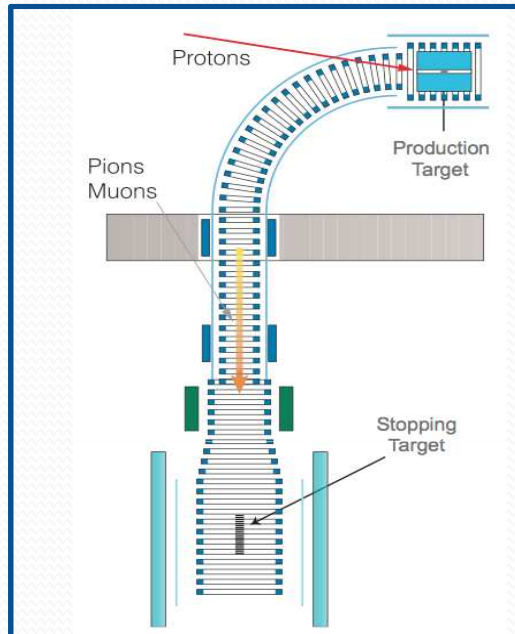
パルスビームにより背景事象低減

湾曲型電子輸送ソレノイド  
-> 高運動量電子の選別

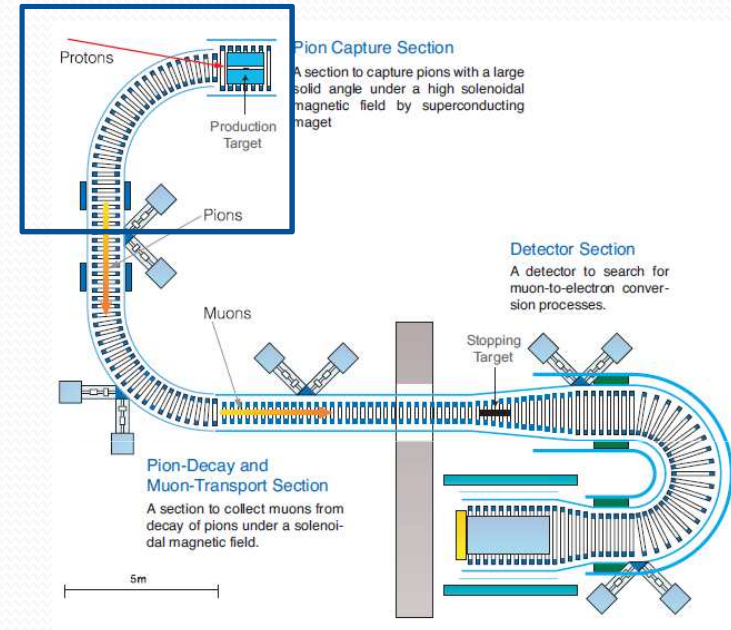
目標感度:  
 $3 \times 10^{-17}$  (現状の10000倍)

# COMET実験

## ステージングアプローチ



Phase-I (2016)



Phase-II (2019)

### Phase-Iの目的

#### 1. Phase-IIのためのR&D

ビーム診断 ⇒ Phase-II同様の検出器使用

#### 2. ミューオン電子転換過程探索

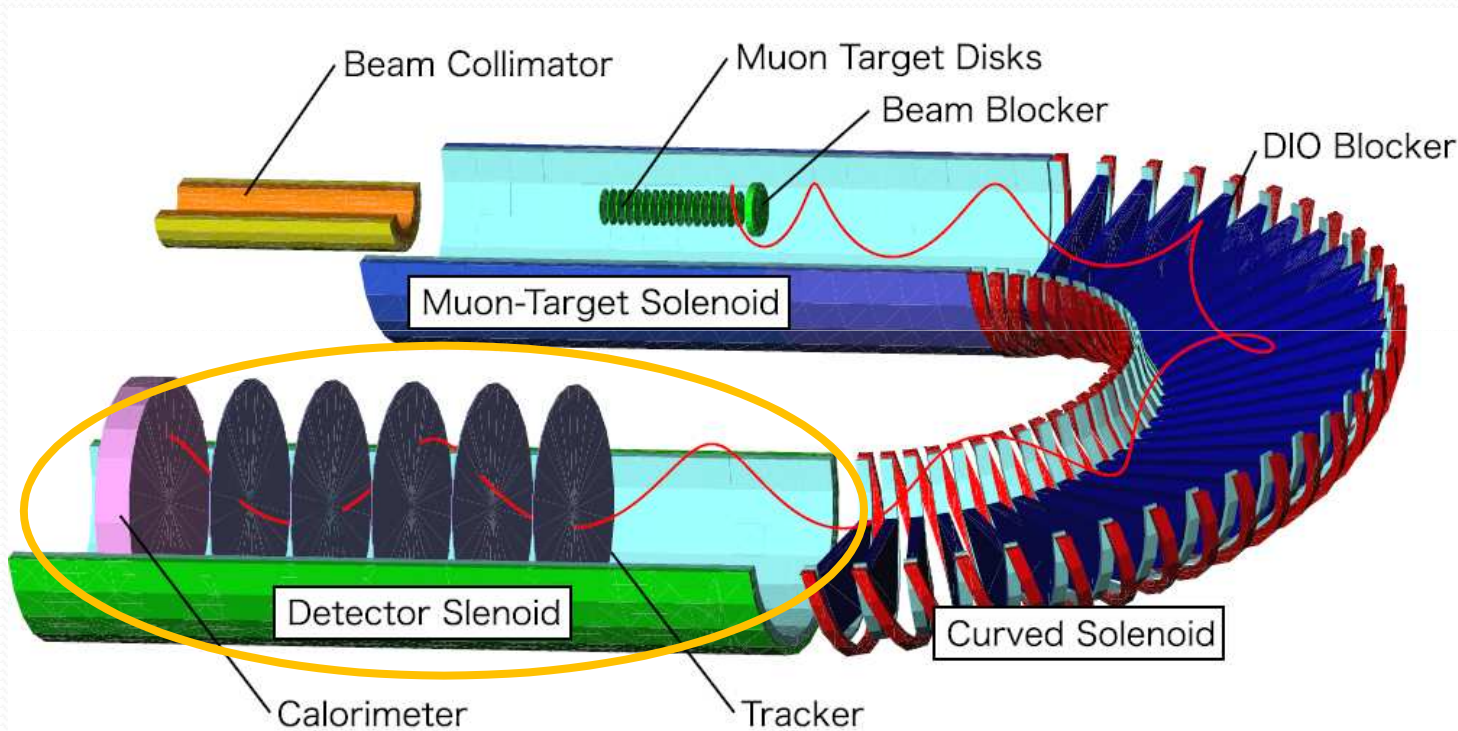
実験感度  $O(-15)$  (現状の100倍) での探索 ⇒ CDC使用



# 検出器

要求

- 高い運動量分解能 ( $<200\text{keV}/c @ 105\text{MeV}/c$ )
- 真空中、磁場中 (1T) でオペレーション可能



StrECal検出器

ストローチューブトラッカー

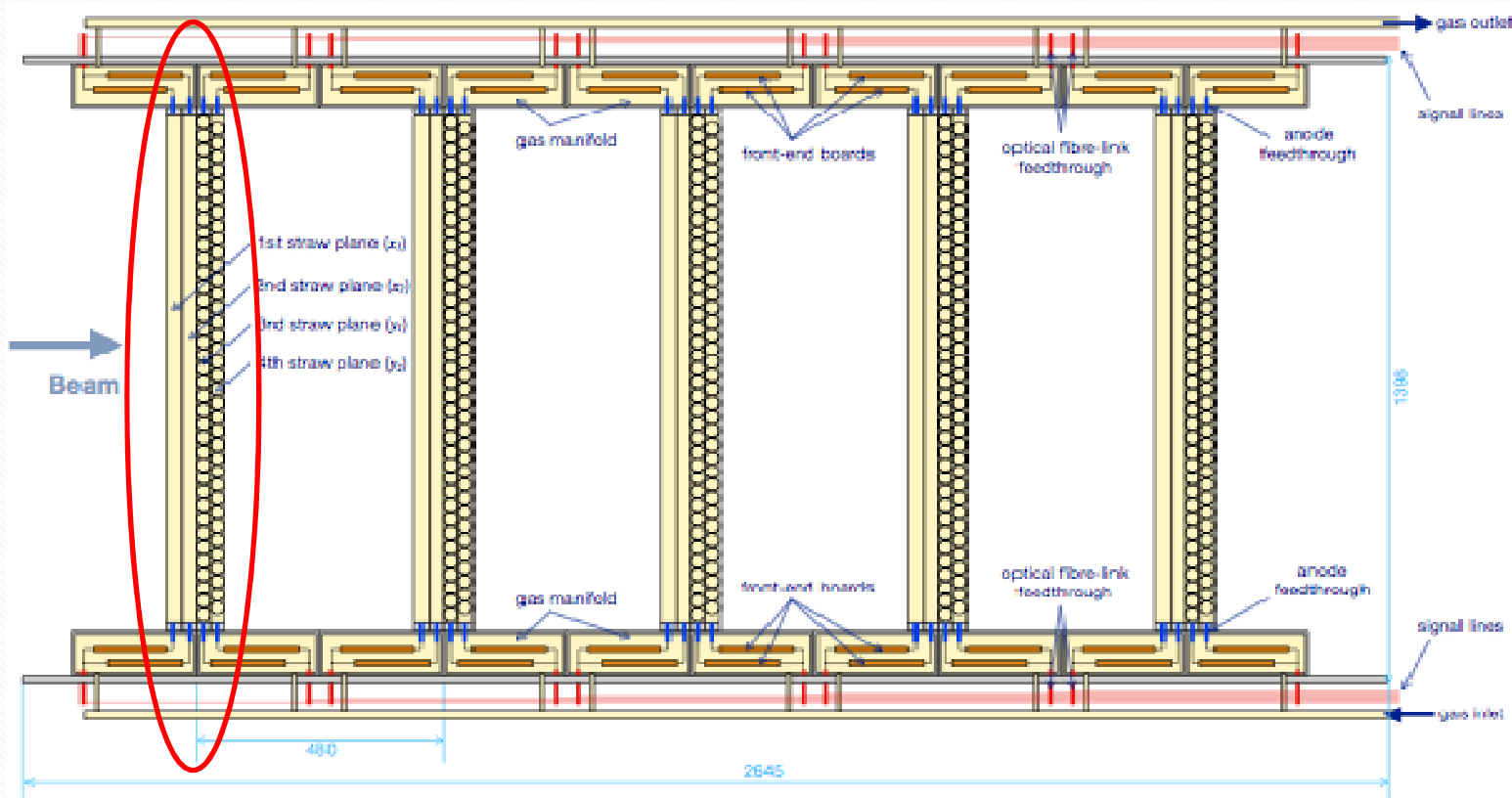
運動量測定

+ カロリーメータ

エネルギー、タイミング、位置測定

⇒トリガー生成、トラッキング補助、PID

# ストローチューブトラック



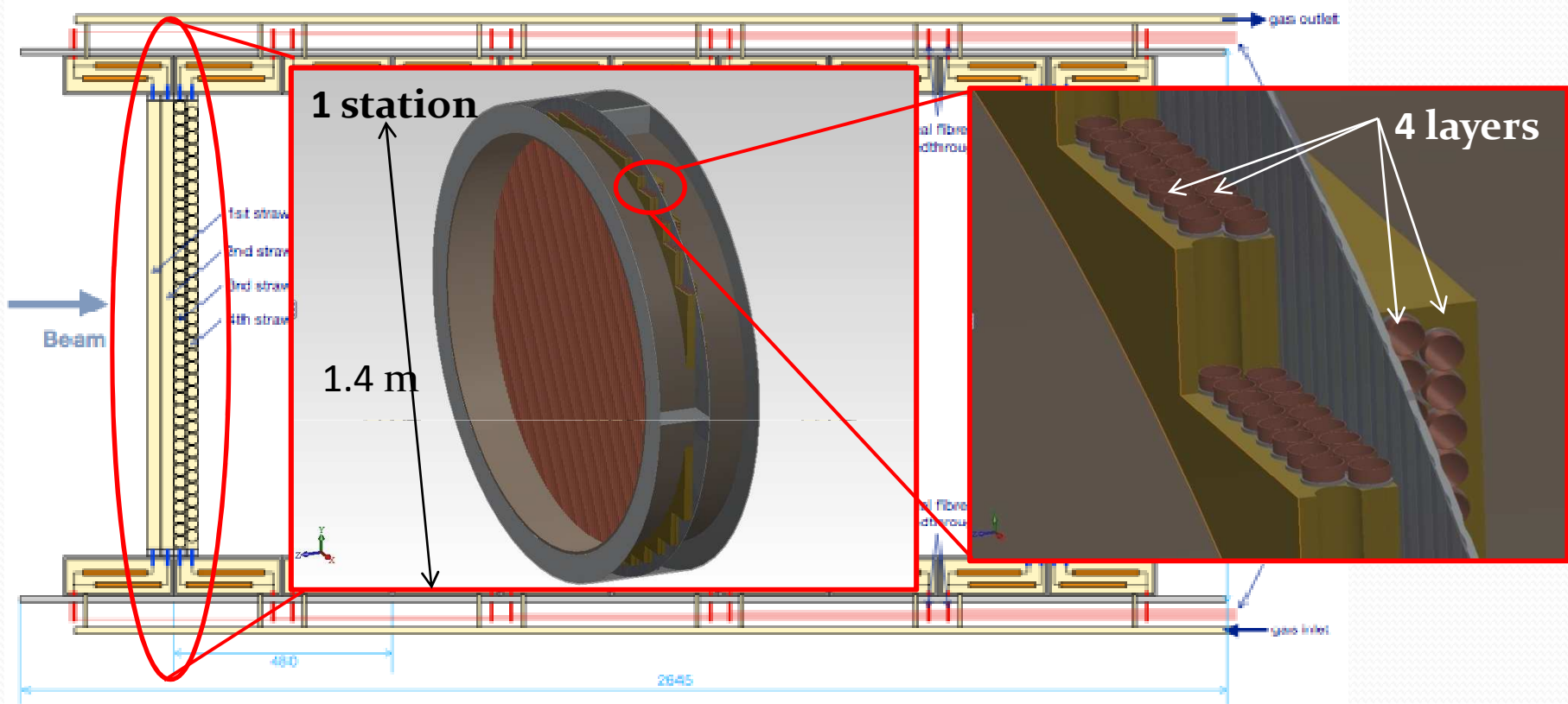
- (少なくとも)5ステーションで構成
- 1ステーションは4レイヤー(x軸×2、y軸×2)から成る
- 1レイヤーは~100本のストローから成る

Gas Ar:C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 50:50

直径:9.75 mm, 長さ:0.6-1.2 m, 材質:mylar 20 or 12 mm (Al-cathode)



# ストローチューブトラック



- (少なくとも)5ステーションで構成
- 1ステーションは4レイヤー(x軸×2、y軸×2)から成る
- 1レイヤーは~100本のストローから成る

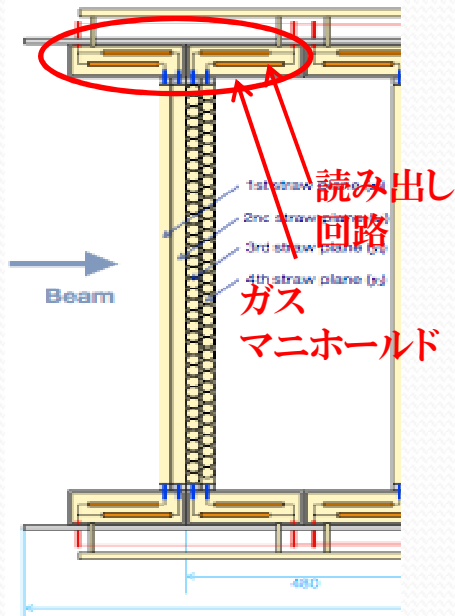
Gas Ar:C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 50:50

直径:9.75 mm, 長さ:0.6-1.2 m, 材質:mylar 20 or 12 mm (Al-cathode)

# ストロー読み出し回路

## 要求

時間分解能	: ~2ns	トラッカー位置分解能~100um
ゲイン	: ~1V/pC	最小電荷(16fC)に対してS/N > 10
チャンネル数(1ボード)	: > 16ch	ストロー数 > 2000ch
大強度対応、真空対応、放射線耐性、磁場耐性、コンパクト化		



## 真空対応

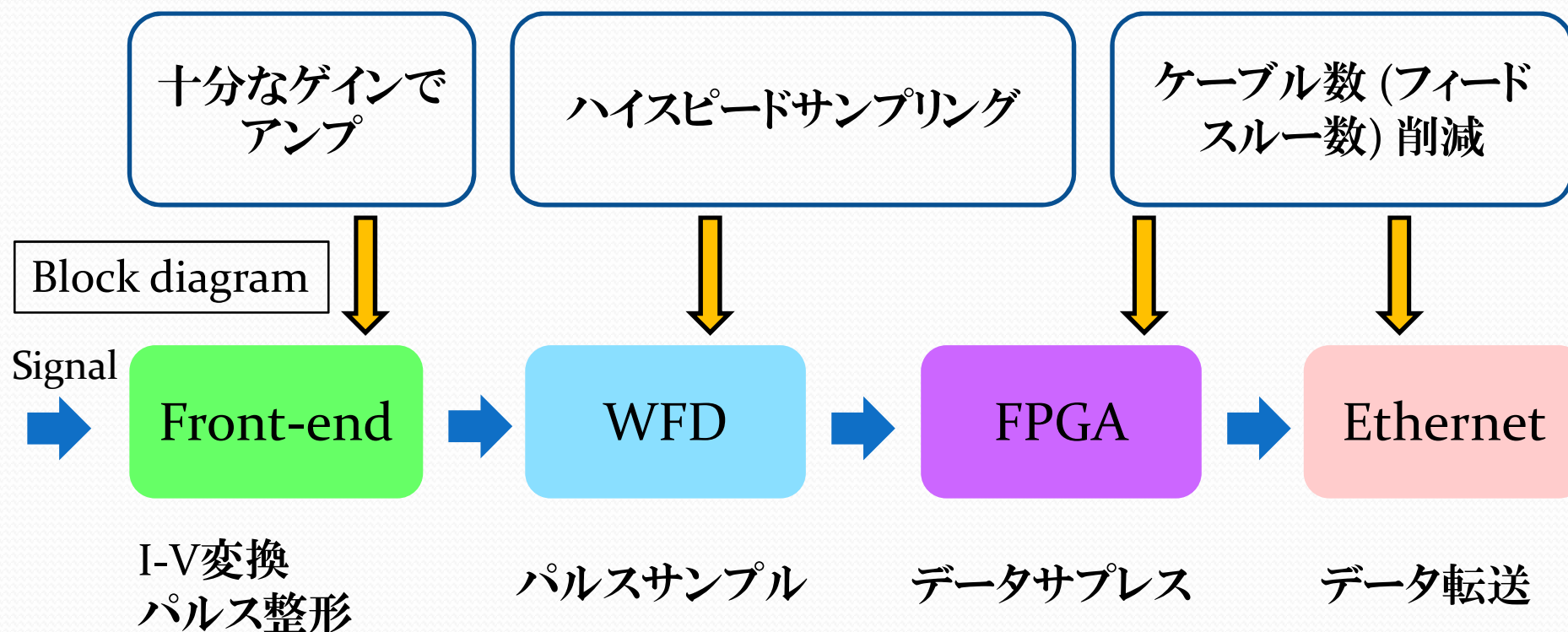
⇒ ガスマニホールド内に回路をインストール  
真空対応の必要をなくす

## 大強度対応

⇒ 早いウェーブフォームデジタイザ(WFD)使用  
波形解析によりパイルアップID

# ストロー読み出し回路

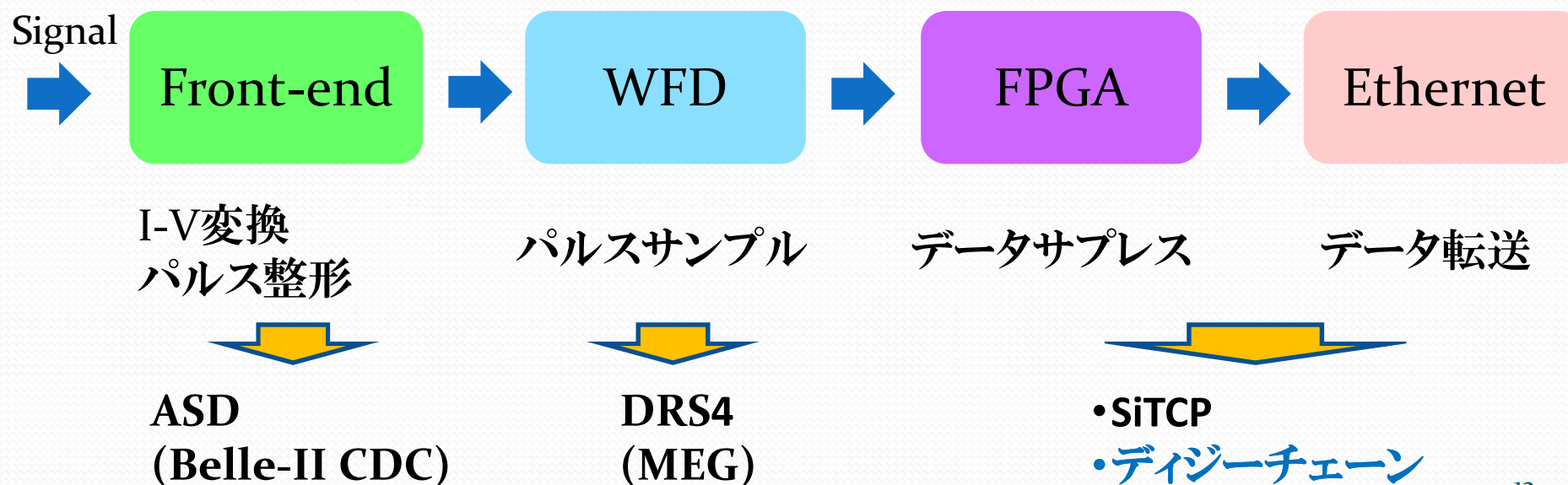
要求をもとに読み出し回路を構成



# 読み出し回路開発

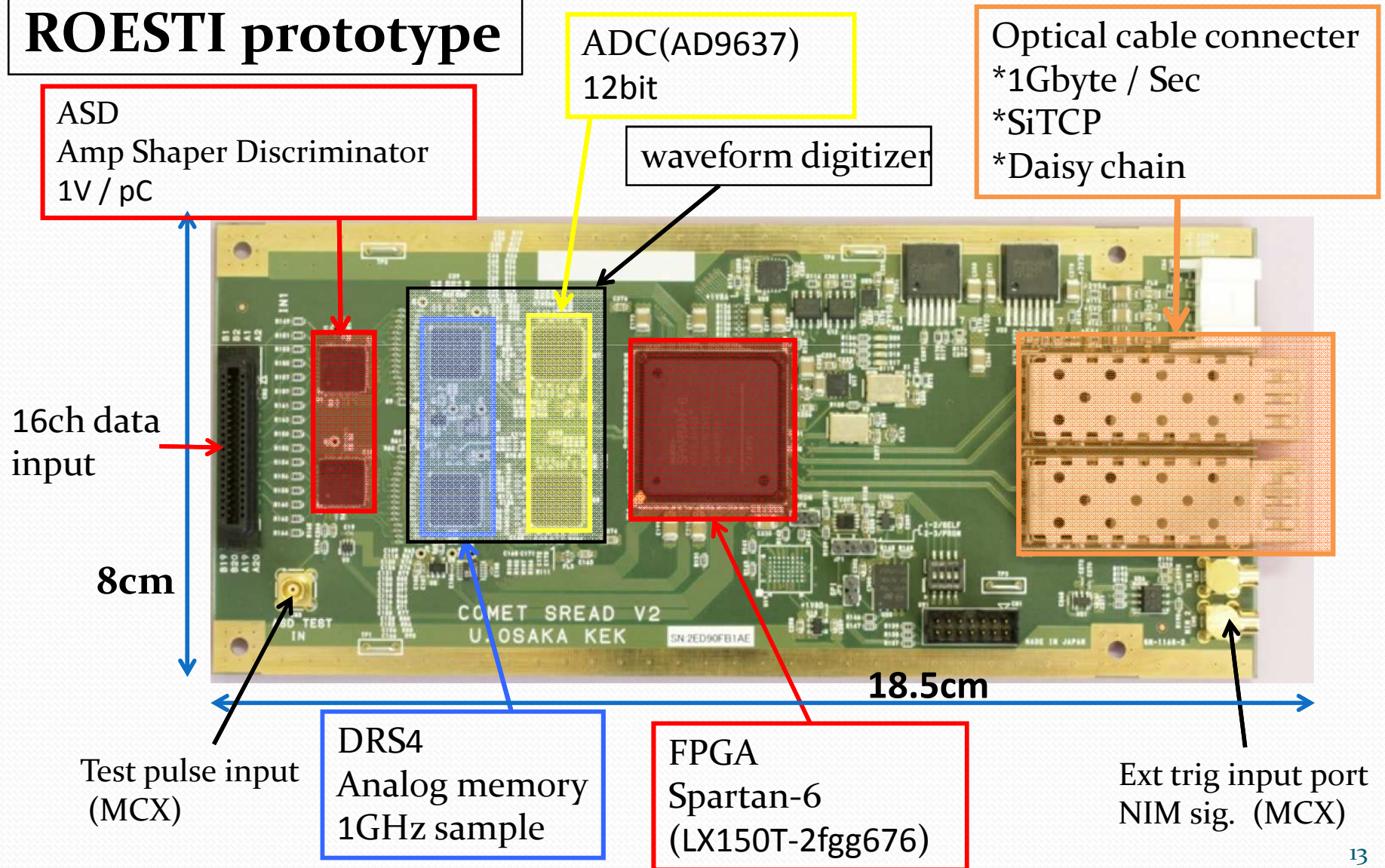
- 全てを1から開発するのは大変
- これまでの技術資産利用 + 必要な部分を新たに開発
- Open-Itのプロジェクトとして開発
- ROESTI=ReadOut Electronics for Straw Tube Instrument

Block diagram



# ROESTI

## ROESTI prototype



# プロトタイプ性能評価

この構成で要求性能を満たすか評価

	要求
● ダイナミックレンジ、ゲイン	<a few pC
● ノイズ	$S/N > 10 @ 16fC$
● 時間分解能	<2ns
● データ転送速度	SiTCPに依存
● デイジーチェーン読み出し	



# パターンコレクション

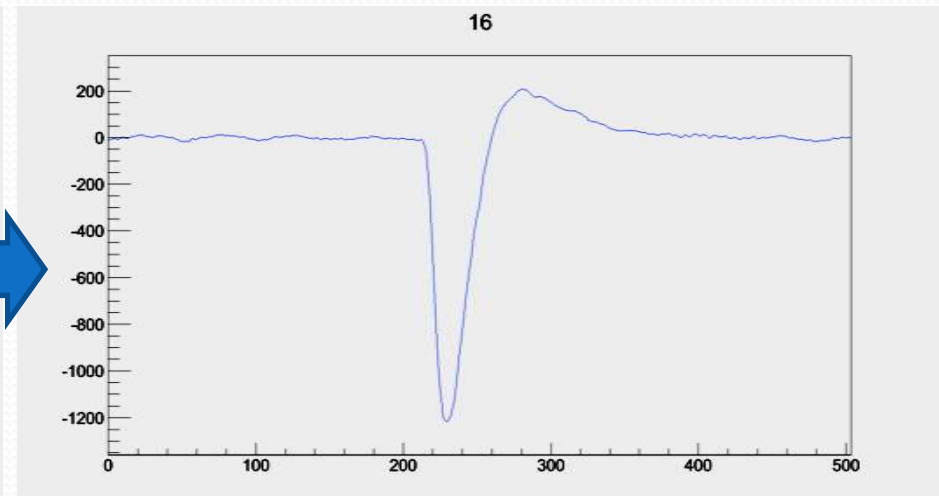
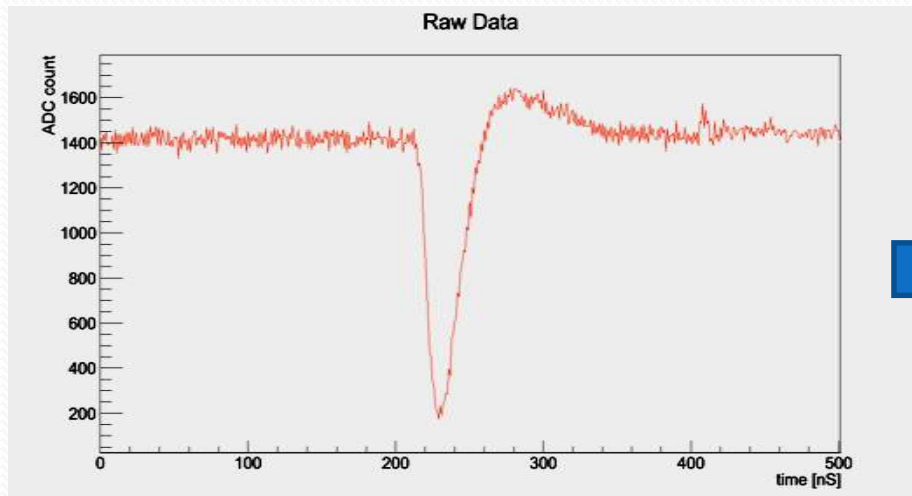
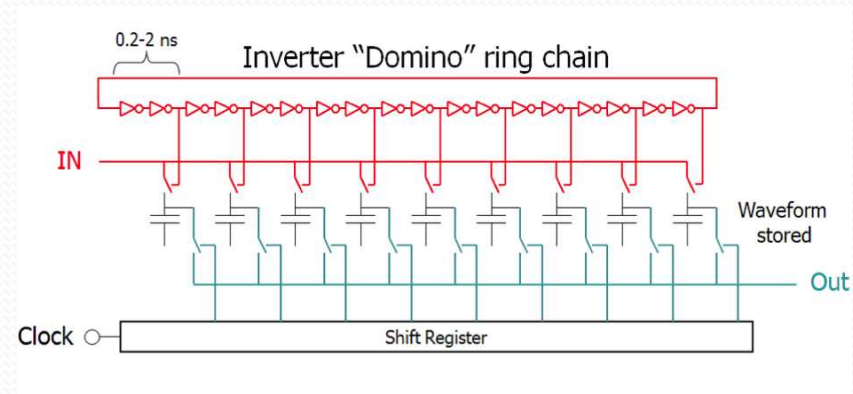
DRS4

1024個のキャパシタ

それぞれ個性あり

⇒ベースライン補正

(パターンコレクション)



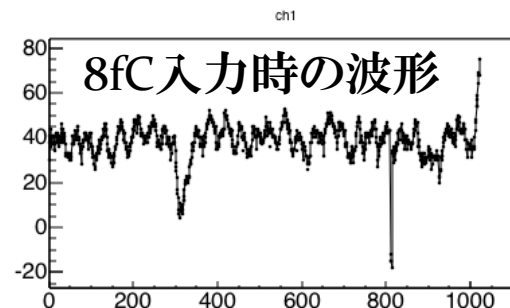
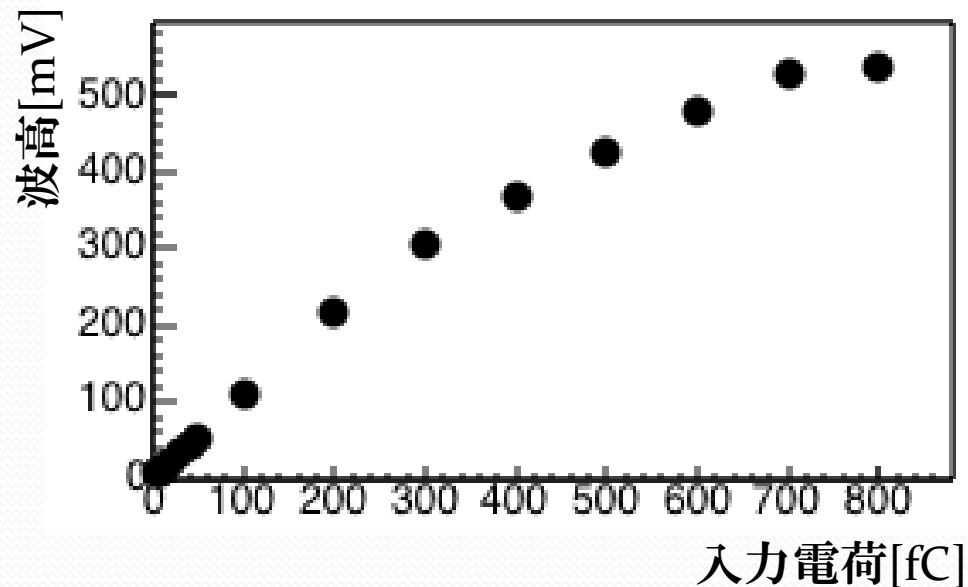
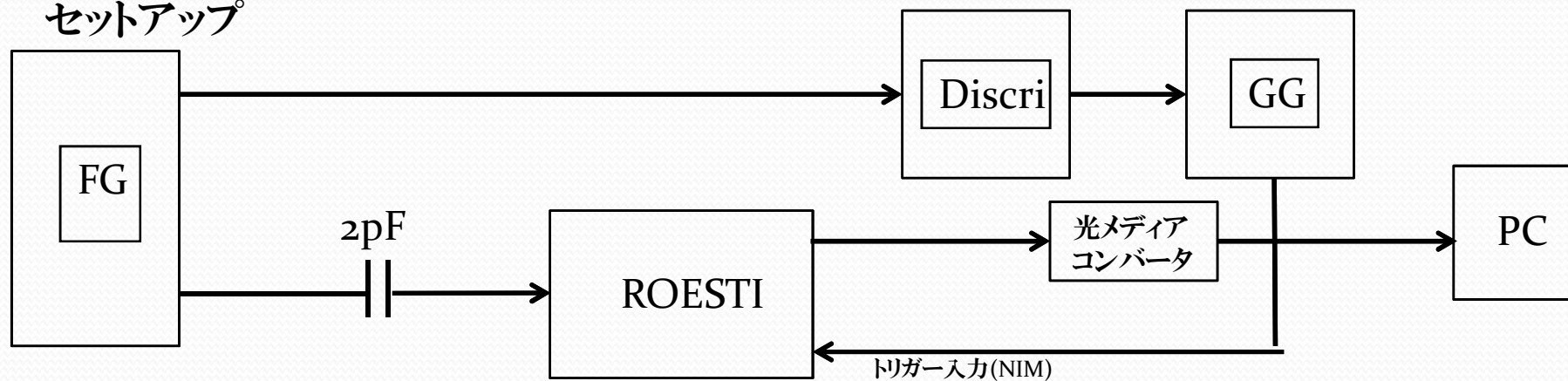
パターンコレクション前

パターンコレクション後

これ以降の結果は全てパターンコレクション後のデータを利用

# ダイナミックレンジ、ゲイン

セットアップ



ダイナミックレンジ

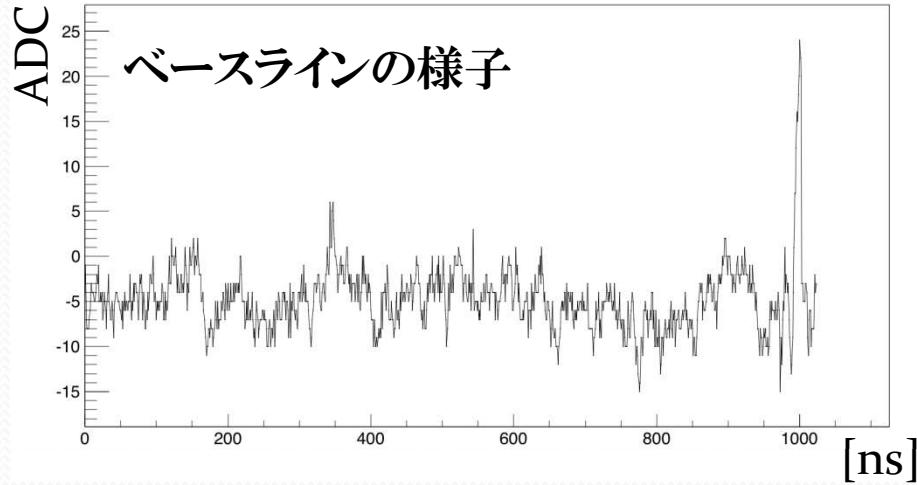
8 - ~600fC

ゲイン

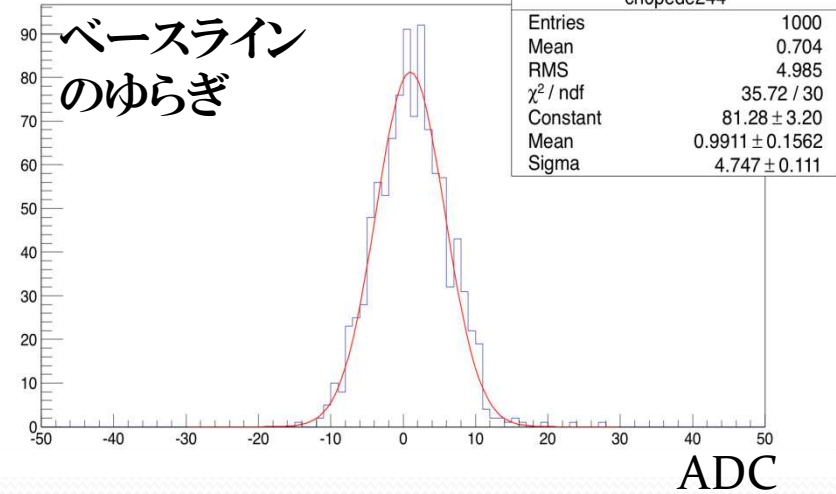
1.1V/pC (<400fC)

# ノイズ

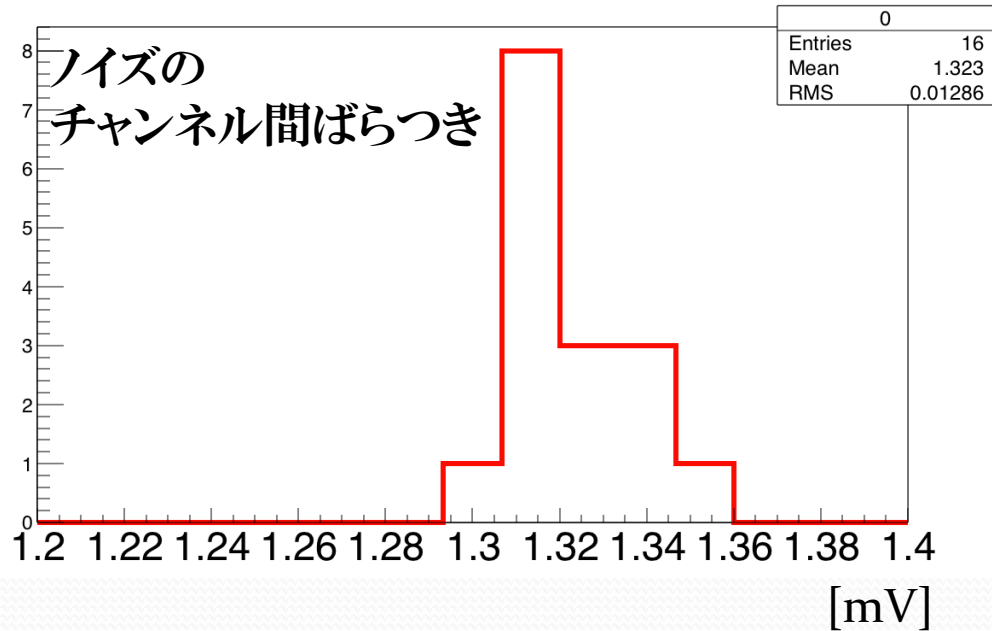
Graph



ch0pede244



0

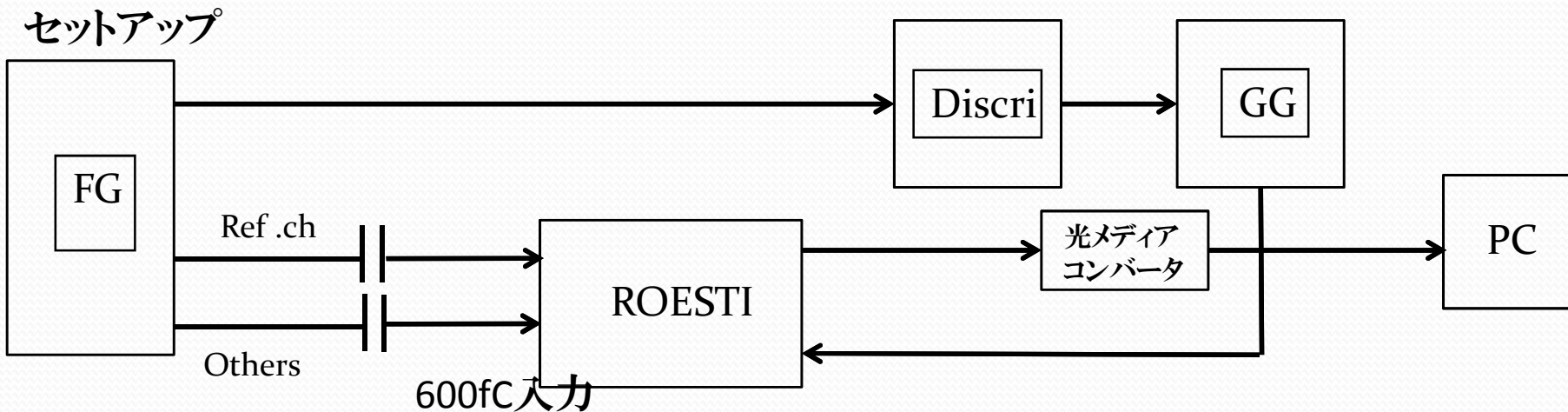


ノイズレベル: ~1.3mV

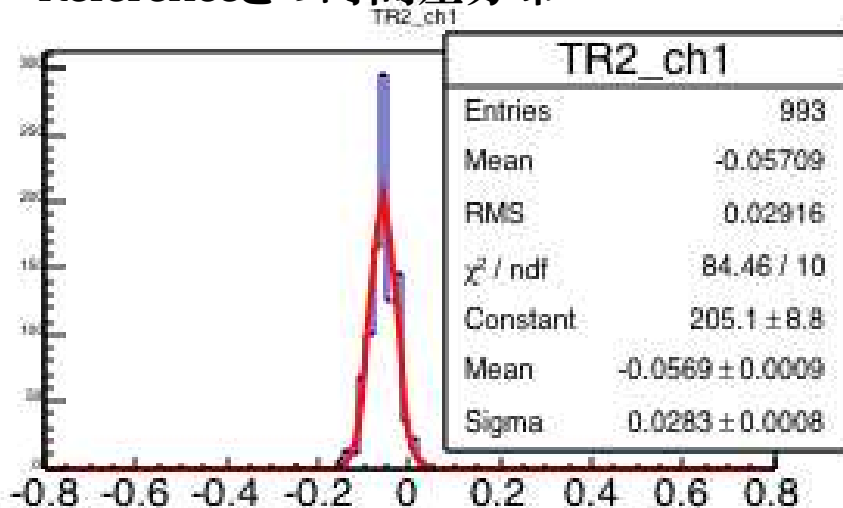


S/N ~ 12 @ 16fC

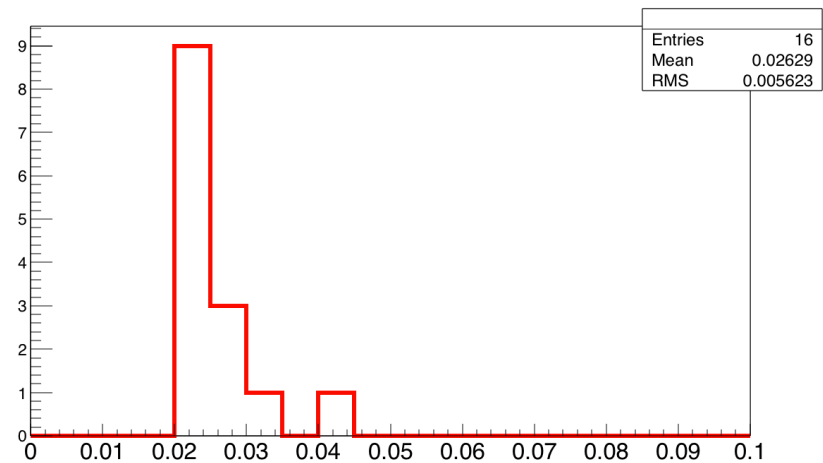
# 時間分解能



Referenceとの時間差分布



時間分解能のチャンネル間ばらつき

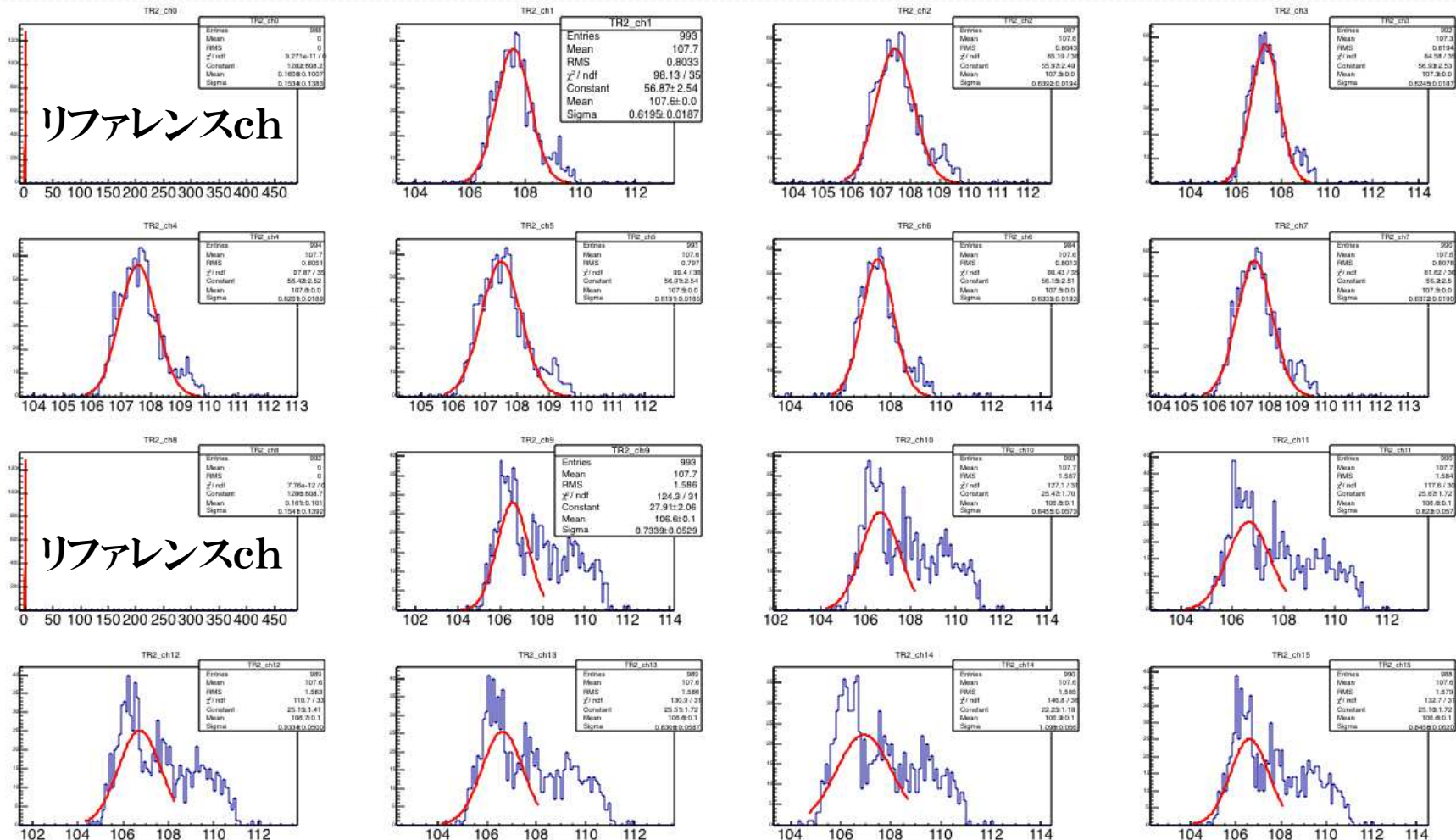


時間分解能 ~ 26ps

# 時間分解能

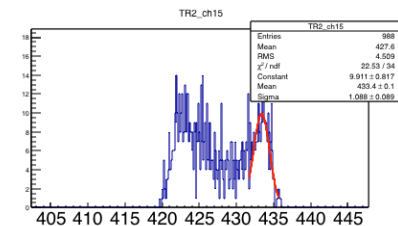
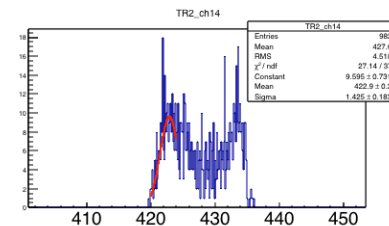
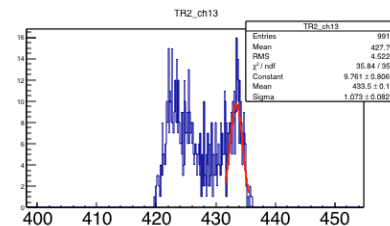
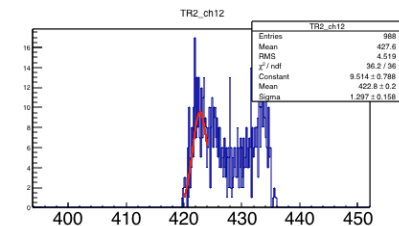
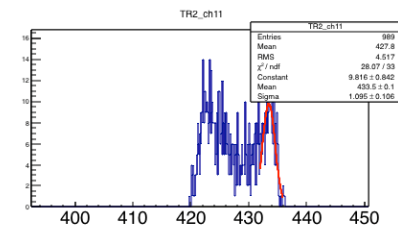
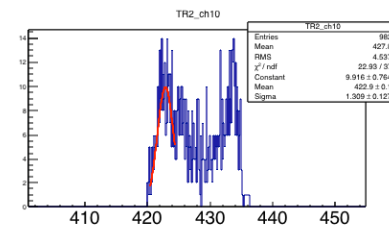
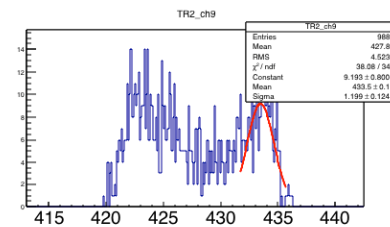
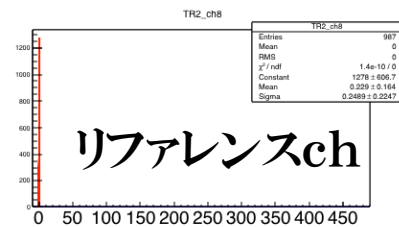
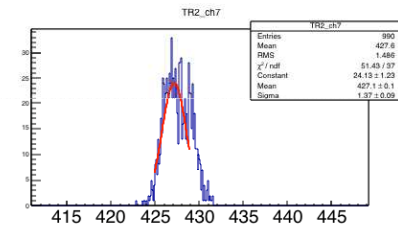
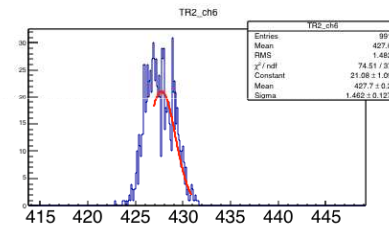
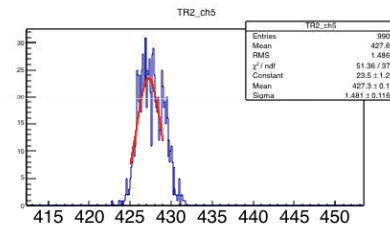
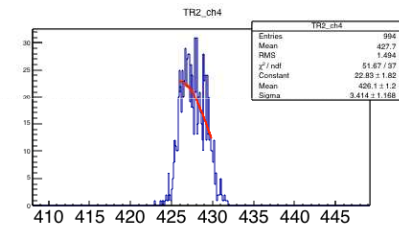
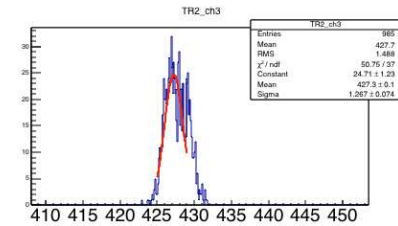
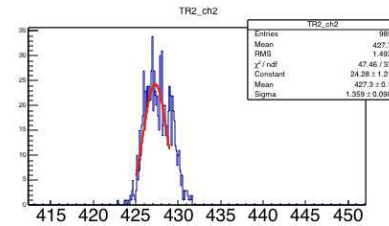
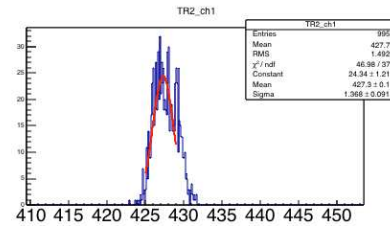
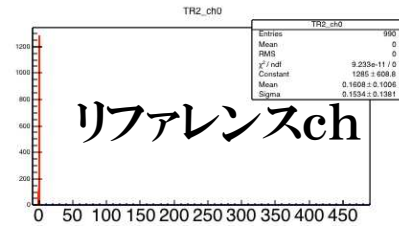
Othersチャンネル(リファレンス以外)にデレイをかけるとよくわからない現象が。。

全チャンネルの時間差分布(デレイ=100ns)



# 時間分解能

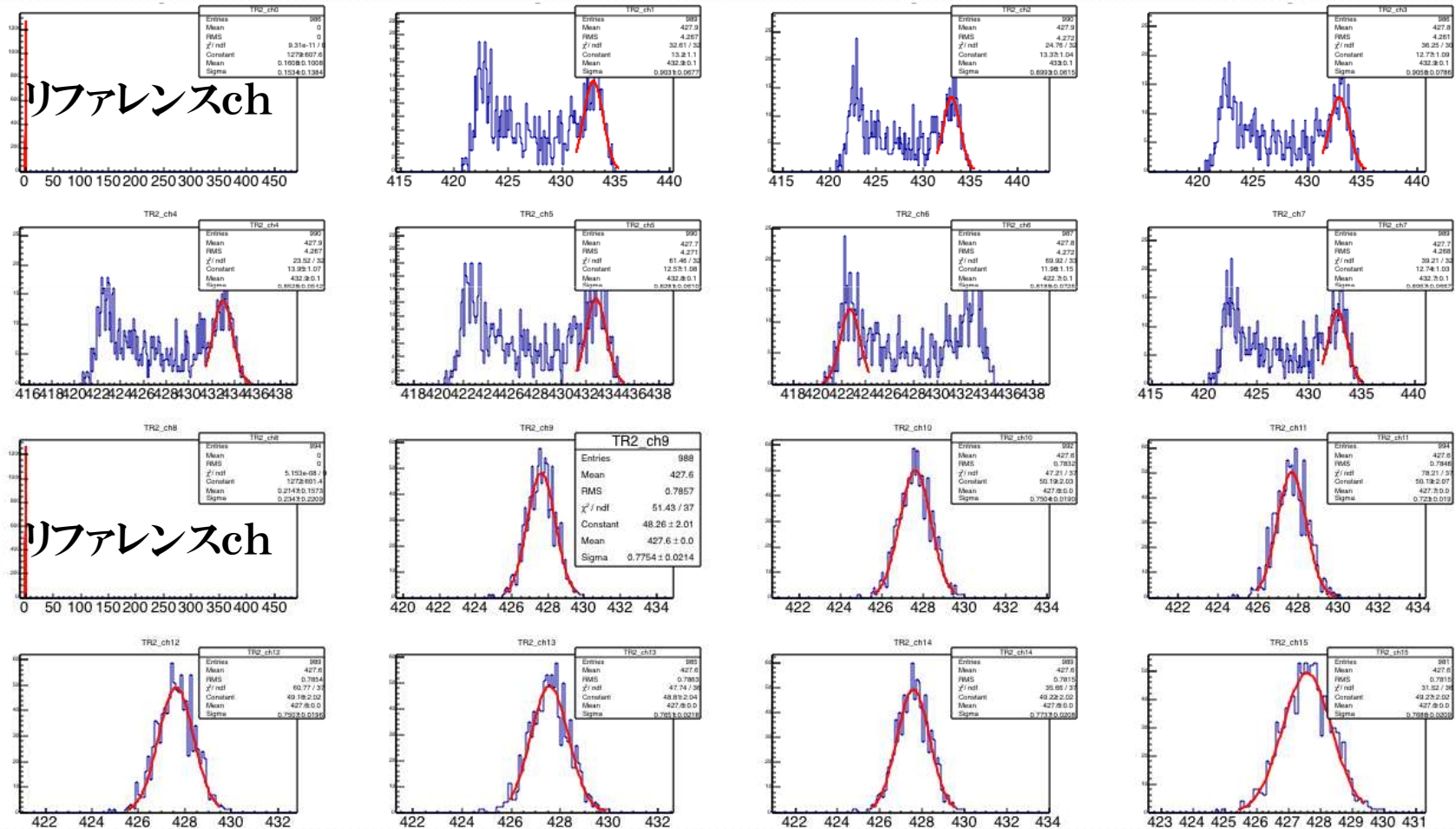
Othersチャンネル(リファレンス以外)にデレイをかけるとよくわからない現象が。  
全チャンネルの時間差分布(デレイ=400ns)





# 時間分解能

Othersチャンネル(リファレンス以外)にデレイをかけるとよくわからない現象が。  
 全チャンネルの時間差分布(デレイ=400ns) 違うボード使用



## 時間分解能

Othersチャンネル(リファレンス以外)にデレイをかけるとよくわからない現象が。。

- よくわからないピークの分離が見える
- ASD後までは問題なし(オシロで確認済)
- どうもそれ以降(チップか配線?)のようである
- 広がり自体は概ね $\sim 2\text{ns}$ なので許容範囲(条件付き)

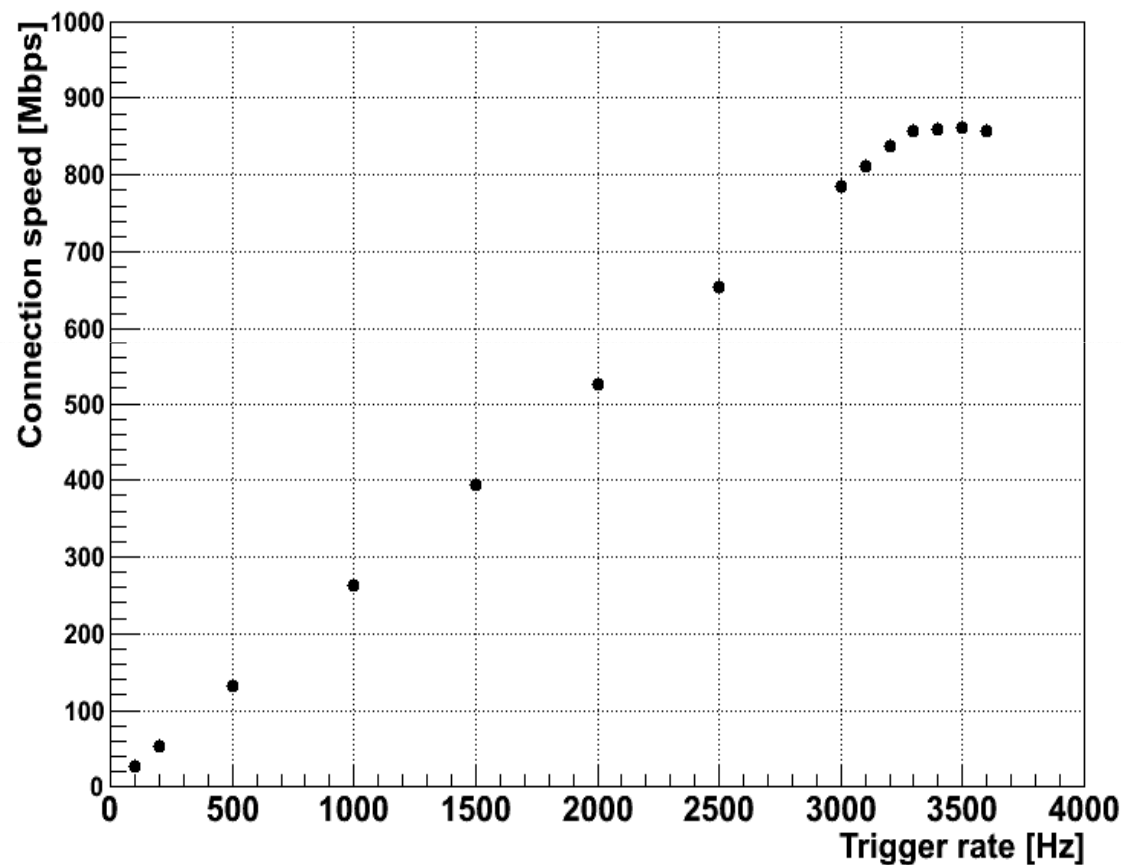


現在調査中

何か情報を持つてるDRS4ユーザーの方、  
いれば教えてください。

# データ転送速度

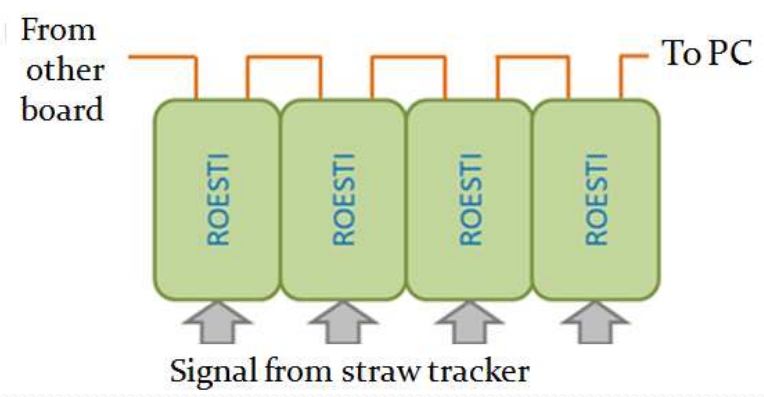
トリガーレートを変えながらデータ転送レートを測定  
PCで得られたデータサイズ/時間で計算



860Mbps@3.3kHz

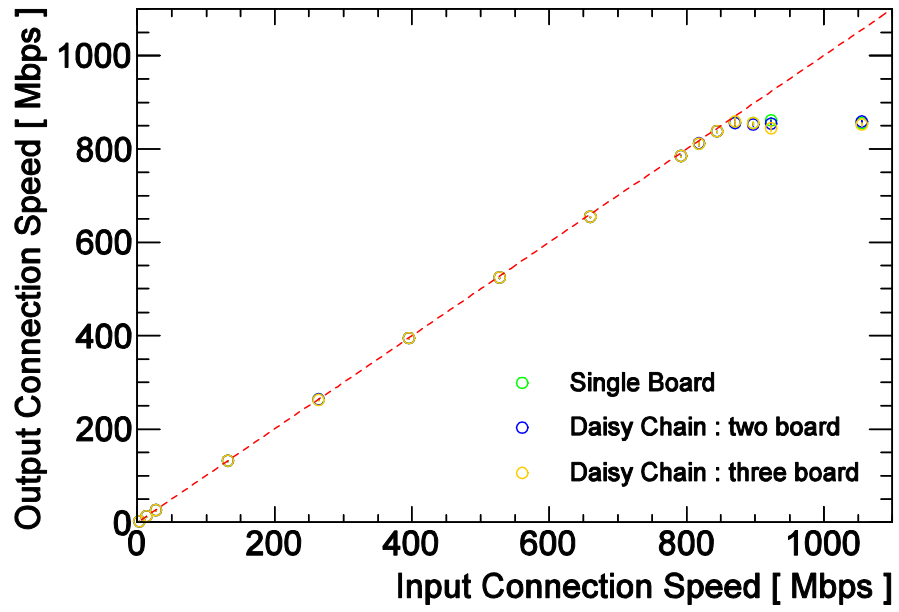
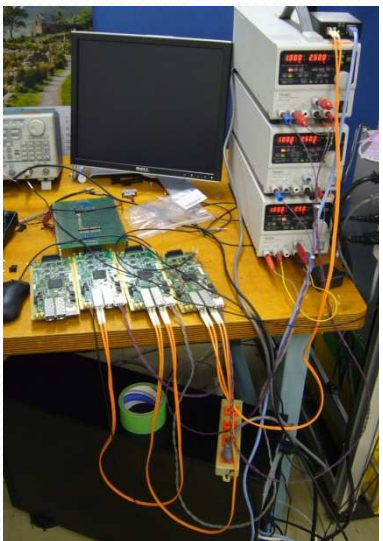
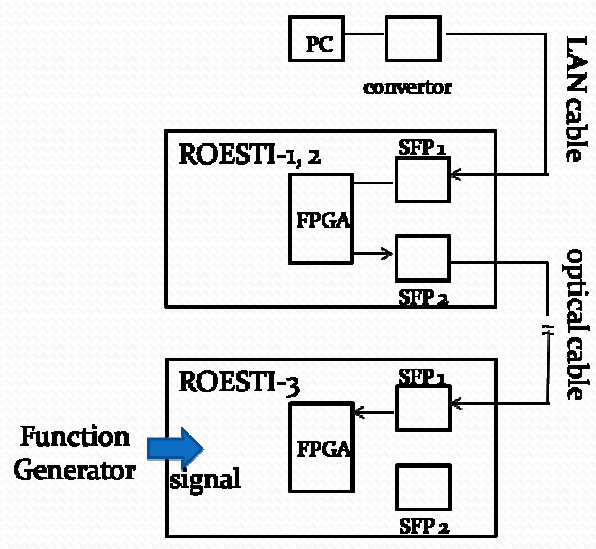
概ね想定通りの速度まで出ている

# デイズチェーン



- 複数ボードのデータを1本のケーブルで読み出す
- 現在Firmware開発中
- 原理的なテストを行った  
ボード3枚使用  
内2枚はデータを素通しするだけ

## セットアップ



原理的には問題なし。この枚数では転送ロスもなし。

# プロトタイプ性能評価

	要求	結果
● ダイナミックレンジ、ゲイン	<a few pC	<600fC
● ノイズ	S/N>10@16fC	~12
● 時間分解能	<2ns	<2ns
● データ転送速度		想定通り
● デイジーチェーン読み出し		原理的にOK

基本的には要求を満たしている

⇒満たさない部分は次バージョンにフィードバック

# 次期バージョンROESTI開発

(ほぼ)ファイナルバージョンの開発

- DRS4前段にアッテネータを挿入
- FPGAをArtix7に変更
- コネクタ(+ケーブル)をより小さく
- 各パーツの放射線耐性、磁場耐性を考慮
- その他現バージョンで見つかった細かいバグ事項を考慮

2014 10月に中性子照射試験@九州大タンDEM

現在データ解析中

オンライン結果:特に劣化は見られず。FPGAのSEUは~1回/80分@ $10^4$ n/s/cm<sup>2</sup>  
年内にガンマ線照射試験@高崎原研、磁場中試験@KEK低温センターを予定

デザイン進行中



# まとめ

- COMET実験
- StrECal検出器開発中
- ストロー検出器用読み出し回路 (ROESTI) 開発中
- 概ね要求を満たしている
- 結果を踏まえ、次期バージョンのデザインを開始

# 今後

- 各種パーツの環境試験
- 次期バージョン構築・評価
- 検出器接続試験
- トリガーシステムとの接続試験 (関連: 藤井講演)
- ファイナルバージョン構築